

Requested Patent: DE3721572A1

Title:

PROCESS FOR OPEN-LOOP AND CLOSED-LOOP CONTROL OF A CATALYST ;

Abstracted Patent: DE3721572 ;

Publication Date: 1988-02-11 ;

Inventor(s):

EITZINGER HARALD ING (AT); TRUPPE PETER (CH); PISCHINGER FRANZ PROF  
DR (DE) ;

Applicant(s): JENBACHER WERKE AG (AT) ;

Application Number: DE19873721572 19870630 ;

Priority Number(s): AT19860002048 19860730 ;

IPC Classification: B01D53/36; B01D53/30; F23J15/00; B01J35/00; B01J12/00 ;

Equivalents: AT204886, AT385915B ;

ABSTRACT:

Process for metering the NH<sub>3</sub> feed to a selective catalyst (1) for reduction of the nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) contained in the untreated emission of a two-stroke gas engine (M). In the process according to the invention at least 75 % of the NH<sub>3</sub> requirement calculated from the power (N) and speed of rotation (n) of the engine (M) is fed to the catalyst (1), as a result of which rapid open-loop control of the NH<sub>3</sub> feed is possible. The NH<sub>3</sub> feed still lacking to make up the correct NH<sub>3</sub> preset value is carried out by closed-loop control, the NO<sub>x</sub> concentration being measured in the exhaust gases and the NH<sub>3</sub> feed being controlled in dependence on the NO<sub>x</sub> concentration determined.



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 37 21 572.8  
②② Anmeldetag: 30. 6. 87  
②③ Offenlegungstag: 11. 2. 88

⑤ Int. Cl. 4:  
B01D 53/36  
B 01 D 53/30  
F 23 J 15/00  
// B01J 35/00, 12/00

Behörden

DE 3721572 A1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③④  
30.07.86 AT 2048/86

⑦① Anmelder:  
Jenbacher Werke AG, Jenbach, Tirol, AT

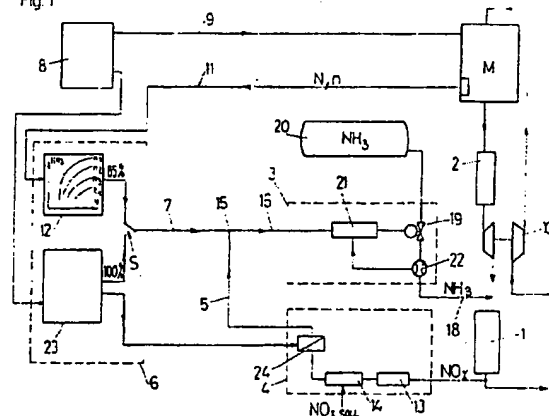
⑦④ Vertreter:  
Flügel, O., Dipl.-Ing.; Säger, M., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anw., 8000 München

⑦② Erfinder:  
Truppe, Peter, Aadorf, CH; Pischinger, Franz, Prof.  
Dr., 5100 Aachen, DE; Eitzinger, Harald, Ing., Stans,  
AT

#### ⑤④ Verfahren zur Katalysator-Steuerung und -Regelung

Verfahren zur Dosierung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr in einen selektiven Katalysator (1) zur Reduktion der in der Rohemission eines Zweitakt-Gasmotors (M) enthaltenen Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ). Beim erfindungsgemäßen Verfahren werden mindestens 75% des aus Leistung (N) und Drehzahl (n) des Motors (M) errechneten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs dem Katalysator (1) zugeführt, womit eine schnelle Steuerung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr möglich ist. Die auf den richtigen  $\text{NH}_3$ -Sollwert noch fehlende  $\text{NH}_3$ -Zufuhr erfolgt durch Regelung, wobei die  $\text{NO}_x$ -Konzentration in den Abgasen gemessen wird und in Abhängigkeit von der festgestellten  $\text{NO}_x$ -Konzentration die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr geregelt wird.

Fig. 1



DE 3721572 A1

1. Verfahren zur Dosierung der Ammoniak ( $\text{NH}_3$ )-Zufuhr in die Abgasleitung einer Verbrennungskraftmaschine (Motor), insbesondere eines Zweitakt-Gasmotors, vor bzw. bei einem Katalysator zur selektiven katalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden ( $\text{NO}_x$ ) in den Abgasen des Motors, wobei die  $\text{NO}_x$ -Konzentration in den Abgasen gemessen wird und in Abhängigkeit von der festgestellten  $\text{NO}_x$ -Konzentration dem Katalysator  $\text{NH}_3$  zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein mindestens 75%, vorzugsweise mindestens 85%, des aus Leistung ( $N$ ) und Drehzahl ( $n$ ) des Motors ( $M$ ) ermittelten, vorzugsweise errechneten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs betragender Teil der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr unabhängig von der über die gemessene  $\text{NO}_x$ -Konzentration in den Abgasen laufenden Regelung dem Katalysator (1) zugeführt wird und der restliche Teil der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr in Abhängigkeit von der in den Abgasen gemessenen  $\text{NO}_x$ -Konzentration geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der  $\text{NH}_3$ -Bedarf zumindest zeitweise im wesentlichen aus gemessenen momentanen Motordaten (Leistung  $N$ , Drehzahl  $n$ ) des Motors ( $M$ ) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der  $\text{NH}_3$ -Bedarf zumindest zeitweise aus über eine Motor-Steuereinrichtung (8) an den Motor ( $M$ ) abgegebenen Motorsteuerdaten (Leistung  $N$ , Drehzahl  $n$ ) ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der  $\text{NH}_3$ -Bedarf bereits eine vorzugsweise einstellbare erste Zeitspanne ( $t_1$ ) vor der Abgabe von Motorsteuerdaten zur Reduzierung der Motorleistung ( $N$ ) im wesentlichen entsprechend der beabsichtigten reduzierten Motorleistung ( $N$ ) ermittelt wird, und daß während einer zweiten Zeitspanne ( $t_2$ ), die vom Beginn der ersten Zeitspanne ( $t_1$ ) mindestens bis zur Einstellung der neuen Motorleistung ( $N$ ) reicht, 100% des ermittelten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs dem Katalysator (1) zugeführt werden und die über die gemessene  $\text{NO}_x$ -Konzentration laufende Regelung außer Kraft ist.
5. Verfahren nach Anspruch 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß der  $\text{NH}_3$ -Bedarf während der zweiten Zeitspanne ( $t_2$ ), in der die Regelung noch außer Kraft ist, beim bzw. nach Einstellen der neuen Motorleistung ( $N$ ) wieder aus den gemessenen tatsächlichen Motordaten (Leistung  $N$ , Drehzahl  $n$ ) ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer gesamten  $\text{NH}_3$ -Zufuhr, die während einer weit über den charakteristischen Regelzeiten der über die gemessene  $\text{NO}_x$ -Konzentration laufenden Regelung liegende Zeitspanne über 100%, vorzugsweise über 105% des aus Leistung ( $N$ ) und Drehzahl ( $n$ ) des Motors ( $M$ ) ermittelten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs liegt, ein Alarmsignal ausgelöst wird und/oder der Motor abgestellt wird.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dosierung der Ammoniak ( $\text{NH}_3$ )-Zufuhr in die Abgasleitung einer Verbrennungskraftmaschine (Motor), insbesondere eines Zweitakt-Gasmotors, vor bzw. bei einem Katalysa-

tor zur selektiven katalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden ( $\text{NO}_x$ ) in den Abgasen des Motors, wobei die  $\text{NO}_x$ -Konzentration in den Abgasen gemessen wird und in Abhängigkeit von der festgestellten  $\text{NO}_x$ -Konzentration dem Katalysator  $\text{NH}_3$  zugeführt wird.

Zur Reduzierung der in der Rohemission von Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere von stationären Zweitakt-Gasmotoren, wie sie in Verdichteranlagen eingesetzt werden, enthaltenen Stickstoffoxiden werden sogenannte SCR-Katalysatoren (Selective Catalytic Reaction) verwendet. Bei derartigen Katalysatoren (z. B.  $\text{TiO}_2$ -Katalysator, Zeolith-Katalysatoren oder Katalysatoren auf Cordierit-Basis) wird Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) vor oder bei dem Katalysator in die Abgasleitung eingedüst und reagiert im Katalysator mit den Stickstoffoxiden an katalytisch wirkenden Flächen weitgehend zu unschädlichen Verbindungen.

Im Betrieb muß die bei dem Katalysator eingedüste  $\text{NH}_3$ -Menge immer in einem bestimmten Verhältnis zu den in den Abgasen enthaltenen Stickstoffoxiden stehen, um einerseits die behördlich vorgeschriebenen  $\text{NO}_x$ -Werte nach dem SCR-Katalysator und andererseits einen  $\text{NH}_3$ -Schlupf nicht zu überschreiten. Unter  $\text{NH}_3$ -Schlupf wird dabei jene  $\text{NH}_3$ -Konzentration verstanden, die in den austretenden Abgasen nach dem SCR-Katalysator noch vorhanden ist. Dieser  $\text{NH}_3$ -Schlupf, der wegen der Giftigkeit von  $\text{NH}_3$  und dessen stechendem Geruch besonders unerwünscht ist, tritt immer dann in unangenehmem Maß auf, wenn zuviel  $\text{NH}_3$  im Verhältnis zum  $\text{NO}_x$  eingedüst wird.

Ein bisher bekanntes Verfahren besteht in einer Regelung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr in den Katalysator, wobei die  $\text{NO}_x$ -Konzentration nach dem Katalysator gemessen wird und in Abhängigkeit von der festgestellten  $\text{NO}_x$ -Konzentration dem Katalysator  $\text{NH}_3$  zugeführt wird. Bei instationärer Betriebsweise, bei der sich Leistung und Drehzahl des Motors und damit die  $\text{NO}_x$ -Konzentration in der Rohemission des Motors rasch verändern, treten aufgrund der typischerweise in der Größenordnung von einer Minute liegenden Regelzeit (von der Probennahme über die photometrische Analyse bis zur Korrektur des eingedüsten  $\text{NH}_3$ -Wert)  $\text{NO}_x$  und  $\text{NH}_3$ -Emissionspeaks auf, wobei die erhöhte  $\text{NH}_3$ -Konzentration aufgrund des erwähnten unangenehmen stechenden Geruchs besonders lästig ist. Diese erhöhte  $\text{NH}_3$ -Konzentration oder  $\text{NH}_3$ -Schlupf tritt bei einer schnellen Leistungsreduzierung auf, wie sie in der Praxis beispielsweise bei sprunghaftem Ändern der Last vorkommt, weil dort etwa eine Minute lang (bis die Regelung die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr zurücknimmt) im Verhältnis zu der aufgrund der Leistungsreduzierung zurückgewangenen  $\text{NO}_x$ -Konzentration zuviel  $\text{NH}_3$  zugeführt wird.

Außerdem wird bei der bekannten Regelung bei Aktivitätsverlust des Katalysators einfach die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr erhöht, um die  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen immer noch unter einem vorgegebenen Grenzwert zu halten. Dies hat aber einen unzulässig hohen  $\text{NH}_3$ -Schlupf zur Folge. Die Möglichkeit die Regelung auf der Messung des  $\text{NH}_3$ -Schlupfes aufzubauen scheidet in der Praxis aus, da im Brennstoff für den Motor meist enthaltener Schwefel mit  $\text{NH}_3$  sofort Ammoniumsulfat reagiert und damit den  $\text{NH}_3$ -Wert zumindest bei nicht absolut schwefelfreien Brennstoffen verfälscht.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Dosierung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr in einen Katalysator zu schaffen, durch das auch bei raschen Leistungs- und Drehzahländerungen des Motors eine bestimmte  $\text{NO}_x$ -Konzentration und insbesondere ein bestimmter

NH<sub>3</sub>-Schlupf in den aus dem Katalysator austretenden Abgasen nicht überschritten werden. Außerdem soll die Gefahr eines unzulässig erhöhten NH<sub>3</sub>-Schlupfes bei Aktivitätsverlust des Katalysators vermieden werden.

Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß ein mindestens 75%, vorzugsweise mindestens 85% des aus Leistung und Drehzahl des Motors ermittelten, vorzugsweise errechneten NH<sub>3</sub>-Bedarfs betragender Teil der NH<sub>3</sub>-Zufuhr unabhängig von der über die gemessene NO<sub>x</sub>-Konzentration in den Abgasen laufenden Regelung dem Katalysator zugeführt wird und der restliche Teil der NH<sub>3</sub>-Zufuhr in Abhängigkeit von der in den Abgasen gemessenen NO<sub>x</sub>-Konzentration geregelt wird.

Die Ermittlung des NH<sub>3</sub>-Bedarfs aus Leistung (Kraftstoffzufuhr) und Drehzahl des Motors ist zwar an sich bekannt (US-PS 44 03 473). Bei der bekannten Anlage ist jedoch die gesamte NH<sub>3</sub>-Zufuhr gesteuert, d. h. ausschließlich durch den aus den Motordaten errechneten NH<sub>3</sub>-Bedarf gegeben. Eine Regelung über die tatsächliche NO<sub>x</sub>-Konzentration in den Abgasen fehlt bei der bekannten Anlage vollkommen, so daß auf Grund schwierig erfaßbarer Parameter, wie Temperatur und Alterungszustand des Katalysators oder Schwankungen in der Rohemission, die den wahren NH<sub>3</sub>-Bedarf mitbestimmen, eine gewünschte genaue Einhaltung der NO<sub>3</sub>-Ausgangskonzentration nicht erzielt werden kann.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird die NH<sub>3</sub>-Zufuhr großteils (zu mindestens 75%) leistungs- und drehzahlabhängig, beispielsweise entsprechend einem in Vorversuchen für einen bestimmten Motortyp ermittelten Kennfeld, gesteuert, während durch Regelung des restlichen Teiles der NH<sub>3</sub>-Zufuhr die gesamte NH<sub>3</sub>-Zufuhr aus den tatsächlich erforderlichen NH<sub>3</sub>-Sollwert geregelt wird. Der genannte NH<sub>3</sub>-Sollwert stellt jene leistungs- und drehzahlabhängige NH<sub>3</sub>-Zufuhr dar, bei der die Rohemission im Katalysator immer auf eine (vorbestimmte NO<sub>x</sub>-Ausgangskonzentration sinkt, die im allgemeinen knapp unterhalb der vorgeschriebenen NO<sub>x</sub>-Höchstkonzentration liegen wird, um einerseits das relativ teure NH<sub>3</sub> zu sparen und andererseits die Gefahr eines größeren NH<sub>3</sub>-Schlupfes von vornherein herabzusetzen.

Unter der von der Regelung über die NO<sub>x</sub>-Konzentration im Abgas unabhängigen NH<sub>3</sub>-Zufuhr ist nicht unbedingt eine räumlich getrennte NH<sub>3</sub>-Zufuhr (ca. 85% gesteuert, ca. 15% geregelt) in den Katalysator gemeint, wenngleich diese auch möglich erscheint. Eher ist daran gedacht, eine einzige räumliche über eine Dosiereinrichtung festgelegte NH<sub>3</sub>-Zufuhr in den Katalysator vorzusehen und dann den Steuereingang dieser Dosiereinrichtung mit einem Signal zu beaufschlagen, das sich aus einem gesteuerten Teilsignal, das mindestens 75% des ermittelten NH<sub>3</sub>-Bedarfs entspricht, und einem geregelten Teilsignal, das der auf den NH<sub>3</sub>-Sollwert fehlenden NH<sub>3</sub>-Zufuhr entspricht, additiv zusammensetzt.

Wesentlich ist beim erfindungsgemäßen Verfahren die Tatsache, daß die NH<sub>3</sub>-Zufuhr zum Großteil unabhängig von der NO<sub>x</sub>-Konzentration gesteuert ist, womit eine vorteilhafte sekundenschnelle (im Gegensatz zu der etwa einminütigen Anpassung bei der alleinigen Regelung zu der NO<sub>x</sub>-Konzentration im Abgas) Anpassung der NH<sub>3</sub>-Zufuhr an eine durch Leistungs- und Drehzahländerung des Motors geänderte NO<sub>x</sub>-Konzentration möglich ist. Daß bei einer solchen schnellen Anpassung der geregelte, viel kleinere Anteil der NH<sub>3</sub>-Zufuhr ( $\leq 25\%$  der gesamten NH<sub>3</sub>-Zufuhr) etwa 1 Minute

nachhinkt, stellt kaum einen Nachteil dar. Beim Absenken der Motorleistung liegt die NH<sub>3</sub>-Zufuhr durch das zeitliche Nachhinken des geregelten Anteils der NH<sub>3</sub>-Zufuhr kurzzeitig geringfügig über dem NH<sub>3</sub>-Sollwert. Dies bewirkt aber wegen der nur geringfügigen Erhöhung gegenüber dem NH<sub>3</sub>-Sollwert lediglich ein etwas tieferes Absenken der NO<sub>x</sub>-Konzentration und keinen merklichen Anstieg, des NH<sub>3</sub>-Schlupfes. Beim Ansteigen der Motorleistung liegt die NH<sub>3</sub>-Zufuhr kurz unter dem NH<sub>3</sub>-Sollwert; dies jedoch ebenso nur geringfügig, da ja nur der für sich kleine, geregelte Anteil der NH<sub>3</sub>-Zufuhr etwas zu klein ist. Die bei den üblicherweise verwendeten Katalysatortypen NH<sub>3</sub>-Pufferwirkung wirkt hier zudem ausgleichend, so daß ein Ansteigen der NO<sub>x</sub>-Konzentration über den erlaubten Wert auf keinen Fall auftritt.

Der geringe in Abhängigkeit von der gemessenen NO<sub>x</sub>-Konzentration geregelte Anteil der NH<sub>3</sub>-Zufuhr stellt somit hinsichtlich der Gefahr von NH<sub>3</sub>- oder NO<sub>x</sub>-Emissionspeaks bei Leistungswechseln keinen Nachteil dar, bringt aber die wesentlichen Vorteile, daß die Möglichkeit besteht, trotz nicht gut erfaßbarer Querempfindlichkeiten, wie momentane Temperatur und Alterungszustand des Katalysators oder Schwankungen in der Rohemission, die Konvertierungsrate des Katalysators voll auszuschöpfen und zumindest in stationären Teilbetriebsphasen, die vorgegebene, in der Regel knapp unter den behördlichen Grenzwerten liegende NO<sub>3</sub>-Konzentration exakt zu erreichen.

Bei großen stationären Motoren, bei denen das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhafterweise angewandt wird, stehen meist gemessene momentane Motordaten zur Verfügung, aus denen sich leicht die momentane Leistung und Drehzahl des Motors ermitteln lassen. Dann ist es gemäß einem bevorzugten Merkmal der Erfindung von Vorteil, wenn der NH<sub>3</sub>-Bedarf zumindest zeitweise im wesentlichen aus gemessenen momentanen Motordaten (Leistung, Drehzahl) des Motors, ermittelt wird. Mehr als 75% der NH<sub>3</sub>-Zufuhr stimmt dann auf Grund der Steuerung von vornherein immer mit dem momentanen NH<sub>3</sub>-Sollwert überein. Der restliche Anteil der NH<sub>3</sub>-Zufuhr wird auf den einer exakten NO<sub>x</sub>-Konzentration entsprechenden NH<sub>3</sub>-Sollwert nachgeregelt.

Auch ohne Messung der Motordaten (Leistung und Drehzahl) läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren anwenden. Hierzu sieht eine weitere bevorzugte Ausführungsform vor, daß der NH<sub>3</sub>-Bedarf zumindest zeitweise aus über eine Motor-Steuereinrichtung an den Motor abgegebenen Motorsteuerdaten (Leistung, Drehzahl) ermittelt wird. Natürlich ist es auch möglich, etwa die Drehzahl zu messen, was einfach ist, und die Leistung aus den Motorsteuerdaten zu entnehmen. Bei Zugrundelegung der Motorsteuerdaten anstelle der gemessenen tatsächlichen Motordaten muß natürlich sichergestellt sein, daß die Motorsteuerdaten zumindest näherungsweise ein Maß für die sich daraufhin einstellenden Motoren sind.

Legt man der Ermittlung des NH<sub>3</sub>-Bedarfes die momentane Motorleistung und Drehzahl zugrunde, so kommt es beim schnellen Absenken der Motorleistung — wie oben erwähnt — kurzzeitig zu einer geringfügig über dem NH<sub>3</sub>-Sollwert liegenden NH<sub>3</sub>-Zufuhr. Bei dem zur Zeit recht hoch liegenden Grenzwert für die NO<sub>x</sub>-Konzentration, unter dem knapp gefahren wird, ist der Katalysator nicht bis ans Ende seiner Konversionsrate belastet und es wird der Überschuß an NH<sub>3</sub> im wesentlichen nur dazu verwendet, die NO<sub>x</sub>-Konzentration wei-

ter zu senken. Muß durch zukünftige strenge Abgasnormen die Konzentrationsrate des Katalysators bereits in stationären Betriebsphasen voll ausgeschöpft werden, oder will man jegliche Erhöhung des  $\text{NH}_3$ -Schlupfes absolut ausschließen, so kann erfindungsgemäß vorteilhafterweise vorgesehen sein, daß der  $\text{NH}_3$ -Bedarf bereits eine vorzugsweise einstellbare erste Zeitspanne vor der Abgabe von Motorsteuerdaten zur Reduzierung der Motorleistung im wesentlichen entsprechend der beabsichtigten reduzierten Motorleistung ermittelt wird, und daß während einer zweiten Zeitspanne, die vom Beginn der ersten Zeitspanne mindestens bis zur Einstellung der neuen Motorleistung reicht, 100% des ermittelten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs dem Katalysator zugeführt werden und die über die gemessene  $\text{NO}_x$ -Konzentration laufende Regelung außer Kraft ist. Bei dieser Variante des Verfahrens wird die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr vorzeitig abgesenkt, was eine Erhöhung des  $\text{NH}_3$ -Schlupfes absolut ausschließt. Auf Grund der  $\text{NH}_3$ -Pufferwirkung des Katalysators, die zwar nur kurz andauert, wird ein Ansteigen der  $\text{NO}_x$ -Konzentration über den zulässigen Höchstwert während der ausgeschalteten Regelung vermieden. Das Ausschalten der Regelung ist nötig, da diese sonst versuchen würde, den absichtlich zu früh auf die neue Motorleistung eingestellten Wert der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr zu korrigieren, wenn die  $\text{NO}_x$ -Konzentration noch entsprechend der alten Motorleistung hoch ist.

Günstigerweise kann im Zusammenhang mit einer derartigen Vorsteuerung des  $\text{NH}_3$ -Wertes bei einer Leistungsreduktion vorgesehen sein, daß der  $\text{NH}_3$ -Bedarf während der zweiten Zeitspanne, in der die Regelung noch außer Kraft ist, beim bzw. nach Einstellen der neuen Motorleistung wieder aus den gemessenen tatsächlichen Motordaten (Leistung, Drehzahl) ermittelt wird. Gemäß dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird praktisch immer der momentane Leistungswert der Ermittlung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr zugrundegelegt. Nur bei Leistungsreduktionen tritt die oben beschriebene Vorsteuerung in Kraft, wobei nach Erreichen der neuen niederen Leistung sofort wiederum der momentane Leistungswert für die Ermittlung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr zugrundegelegt wird und hierauf die Regelung des restlichen Anteiles der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr wieder in Kraft tritt.

Um zu verhindern, daß durch Aktivitätsverlust des Katalysators ein erhöhter  $\text{NH}_3$ -Schlupf auftritt, sieht ein bevorzugtes Merkmal der Erfindung vor, daß bei einer gesamten  $\text{NH}_3$ -Zufuhr, die während einer weit über den charakteristischen Regelzeiten der über die gemessene  $\text{NO}_x$ -Konzentration laufenden Regelung liegende Zeitspanne über 100%, vorzugsweise über 105% des aus Leistung und Drehzahl des Motors ermittelten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs liegt, ein Alarmsignal ausgelöst wird und/oder der Motor abgestellt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird im folgenden durch ein Ausführungsbeispiel anhand einer Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens durch die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm der Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 und 3 jeweils in einem Diagramm den zeitlichen Verlauf der Motorleistung, des gesteuerten  $\text{NH}_3$ -Anteiles der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr, des geregelten Anteils der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr bzw. der gesamten  $\text{NH}_3$ -Zufuhr, der  $\text{NO}_x$ -Konzentration und des  $\text{NH}_3$ -Schlupfes nach dem Katalysator bei Reduzierung der Motorleistung, und

Fig. 4 und 5 die gleichen Diagramme wie in Fig. 2 und 3 jedoch bei Steigerung der Motorleistung.

In Fig. 1 ist eine Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch dargestellt. Die gesamte Anlage besteht im wesentlichen aus einem aufgeladenen Zweitakt-Gasmotor  $M$ , dessen in der Rohemission enthaltene schädliche Substanzen in einem selektiv auf  $\text{NO}_x$  wirkenden SCR-Katalysator 1 und einem Oxidationskatalysator 2 weitgehend zu unschädlichen Verbindungen reagieren, einer  $\text{NH}_3$ -Dosiereinrichtung 3, welche die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr ( $\text{NH}_3$ -Eindüsung) in die Abgasleitung dosiert, einer Regeleinrichtung 4, die die  $\text{NO}_x$ -Konzentration hinter dem SCR-Katalysator 1 ermittelt und abhängig von dieser  $\text{NO}_x$ -Konzentration über die Regelleitung 5 die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr regelt, und einer Steuereinrichtung 6, die den  $\text{NH}_3$ -Bedarf aus Leistung  $N$  und Drehzahl  $n$  des Motors  $M$  nach einem Kennfeld errechnet und unabhängig von Regeleinrichtung 4 über die Steuerleitung 7 eine Zuführung von etwa 85% des  $\text{NH}_3$ -Bedarfs bewirkt.

Das Wesentliche des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß mindestens 75%, vorzugsweise 85%, des aus Leistung  $N$  und Drehzahl  $n$  des Motors  $M$  ermittelten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs unabhängig von der Regelung über die  $\text{NO}_x$ -Konzentration dem SCR-Katalysator 1 zugeführt werden, (= schnellere Steuerung), während nur die restliche  $\text{NH}_3$ -Zufuhr ( $< 25\%$ ) auf den  $\text{NH}_3$ -Sollwert, bei dem die in der Rohemission enthaltene  $\text{NO}_x$ -Konzentration im SCR-Katalysator durch Reaktion mit dem zugeführten  $\text{NH}_3$  gerade auf eine geforderte  $\text{NO}_x$ -Ausgangskonzentration sinkt, geregelt wird (= langsamere Regelung). Damit läßt sich seinerseits die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr auch bei schnellen Leistungsänderungen des Motors  $M$  immer exakt auf den zugehörigen  $\text{NH}_3$ -Sollwert dosieren, womit sowohl  $\text{NO}_x$ - als auch  $\text{NH}_3$ -Emissionspeaks vermieden werden. Andererseits ermöglicht die feine Regelung trotz schwer erfaßbarer Querempfindlichkeiten, wie Temperatur, Alterungszustand des SCR-Katalysators 1 oder Schwankungen der Rohemission immer eine solche  $\text{NH}_3$ -Zufuhr, die die  $\text{NO}_x$ -Konzentration immer exakt auf eine vorher festgelegte  $\text{NO}_x$ -Konzentration führt.

Im einzelnen funktioniert die gezeigte Anlage wie folgt:

Im stationären Betrieb legt die Motorsteuereinrichtung 8 über die Motorsteuerleitung 9 eine konstante Leistung  $N$  und Drehzahl  $n$  des über den Abgas-Turbolader 10 aufgeladenen Motor  $M$  fest. Über eine Meßleitung 11 werden die gemessenen, aktuellen Motordaten (Leistung  $N$ , Drehzahl  $n$ ) an den Bedarfsrechner 12 der Steuereinrichtung 6 geliefert. Dieser berechnet aus den gemessenen Motordaten ein Ausgangssignal, welches über den Schalter  $S$  und die Steuerleitung 7 der  $\text{NH}_3$ -Dosiereinrichtung zugeführt wird und über diese eine  $\text{NH}_3$ -Zufuhr von 85% des vom Bedarfsrechner errechneten  $\text{NH}_3$ -Bedarfs einwirkt.

Gleichzeitig mißt die  $\text{NO}_x$ -Meßeinheit 13 der Regeleinrichtung 4 laufend die  $\text{NO}_x$ -Konzentration. In der eigentlichen Regeleinheit 14 wird der festgestellte Istwert der  $\text{NO}_x$ -Konzentration mit dem voreingestellten Sollwert der  $\text{NO}_x$ -Konzentration verglichen und abhängig vom Vergleichsergebnis die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr über die Regelleitung 5 und die  $\text{NH}_3$ -Dosiereinrichtung 3 korrigiert, was letztlich die  $\text{NO}_x$ -Konzentration korrigiert. Die Addition der Steuersignale auf der Steuerleitung 7 und der Regelsignale auf der Regelleitung 5 erfolgt im Punkt 15.

Der Aufbau der  $\text{NH}_3$ -Dosiereinrichtung 3 ist nur stark schematisiert dargestellt und kurz beschrieben. Wesentlich ist lediglich die Aufgabe der  $\text{NH}_3$ -Dosierein-

richtung, nämlich in Abhängigkeit des auf der Eingangsleitung 16 anstehenden Signals eine bestimmte  $\text{NH}_3$ -Zufuhr über die Eindüsleitung 18 zu bewirken. Hierzu ist ein elektrisch betätigbares Ventil 19 vorgesehen, das letztlich die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr aus der  $\text{NH}_3$ -Lager- und Fördereinheit 20 dosiert. Eine Regeleinrichtung 21 empfängt, abgesehen vom Eingangssignal, über einen Mengemesser 22 den Istwert der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr und regelt diesen über das Ventil 19 auf den dem Eingangssignal entsprechenden Wert.

Bei einer beabsichtigten Leistungsverminderung des Motors  $M$  übernimmt die Vorsteuereinheit 23 anstelle des Bedarfsrechners 12 die Steuerung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr, indem der schematisch dargestellte Schalter  $S$  in die in Fig. 1 nicht dargestellte Stellung umgelegt wird. In der Praxis wird der Schalter  $S$  elektronisch realisiert sein.

Wie aus Fig. 2 hervorgeht, reduziert die Vorsteuereinheit 23 den gesteuerten Anteil der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr (bzw. das Signal auf der Steuerleitung 7) bereits eine Zeitspanne  $t_1$  ( $t_1 \approx 20$  sec) vor der echten Reduzierung der Leistung  $N$  auf einen Wert, der der beabsichtigten neuen Leistung entspricht. Um zu verhindern, daß die Regelung nun nachzuregulieren versucht, wird die Regelleitung 5 über den Ein/Ausschalter 24 für eine Zeitspanne  $t_2$  ( $\approx 60-80$  sec) abgeschaltet, womit die Vorsteuereinrichtung zu 100% die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr bestimmt. Durch dieses Vorsteuern wird ein erhöhter  $\text{NH}_3$ -Schlupf auf jeden Fall verhindert (vgl. Fig. 3 unten), da die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr ja momentan sogar zu niedrig ist. Dies bewirkt ein leichtes Ansteigen der  $\text{NO}_x$ -Konzentration während der Zeitspanne  $t_1$ , die jedoch, wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, nie den  $\text{NO}_x$ -Grenzwert erreicht. Hierauf sinkt die Motorleistung  $N$  und damit die  $\text{NO}_x$ -Konzentration innerhalb von  $t_3$  ( $t_3 \approx 12$  sec) wirklich ab. Nach Absenken der Leistung übernimmt wieder der Bedarfsrechner 12 die Steuerung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr, der eine  $\text{NH}_3$ -Zufuhr von 85% des zur neuen Leistung  $N$  gehörigen  $\text{NH}_3$ -Bedarfs bewirkt. Da die Regelung noch ausgeschaltet ist, steigt die  $\text{NO}_x$ -Konzentration bis zum Einschalten der Regelung leicht an. Hierauf schaltet man die Regelungseinstellung wieder an, was die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr so korrigiert, daß die  $\text{NO}_x$ -Konzentration auf etwa 10% unter den  $\text{NO}_x$ -Grenzwert sinkt. Während der Leistungsreduktion ist der gesamte  $\text{NH}_3$ -Schlupf nie angestiegen und die  $\text{NO}_x$ -Konzentration ist unter dem Grenzwert geblieben. Nach der Reduktion der Leistung liegt die  $\text{NO}_x$ -Konzentration hinter dem SCR-Katalysator gleich wie vorher, die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr ist auf Grund der geringeren  $\text{NO}_x$ -Rohemission jedenfalls geringer.

Bei einer Leistungssteigerung hat immer der Bedarfsrechner 12 die Steuerung inne. Hier wäre eine vorherige Erhöhung der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr natürlich unerwünscht. Die Regelung hinkt etwa eine Minute mit ihrem Ansprechen nach, was zur Folge hat, daß die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr beim Leistungsanstieg (vgl. Fig. 4) während der Zeitspanne  $t_4$  ( $t_4 \approx 24$  sec) leicht nachhinkt, was einen leichten Anstieg der  $\text{NO}_x$ -Konzentration, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist, bewirken kann. Dadurch, daß aber 85% der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr mit der Leistung gesteuert sind und nur etwa 15% geregelt, ist das Ausmaß des Nachhinkens der  $\text{NH}_3$ -Zufuhr auf Grund der Trägheit der Regelung gering und somit der Anstieg der  $\text{NO}_x$ -Konzentration ebenfalls gering, wobei die  $\text{NH}_3$ -Pufferwirkung des Katalysators hier zusätzlich ausgleichend wirkt.

Zu den Kurvenverläufen in den Fig. 2 bis 5 wäre zu bemerken, daß es sich hierbei um stark schematisierte Verläufe handelt, die in der Praxis doch erheblich abweichen können. Wesentlich ist, daß sowohl beim Anstieg

(Fig. 4 und 5) als auch bei der Reduktion (Fig. 2 und 3) der Leistung  $N$  die  $\text{NO}_x$ -Konzentration nie den  $\text{NO}_x$ -Grenzwert überschreitet und der störende  $\text{NH}_3$ -Schlupf eher sinkt als steigt.

Der SCR-Katalysator 1 muß nicht hinter dem Turbolader 10 und dem Oxidationskatalysator 2, der zur Oxidation von Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen und CO dient, angeordnet sein. Da der Oxidationskatalysator 2 bei hohen Temperaturen einen besseren Wirkungsgrad hat, ist es jedoch günstig, diesen Katalysator nahe beim Motor  $M$  anzuordnen. Wäre der SCR-Katalysator vor dem Turbolader 10 angeordnet, so müßte sowohl auf Grund der stark korrosiven Wirkung von  $\text{NO}_3$  ein Oxidationskatalysator zwischen SCR-Katalysator 1 und Turbolader 10 eingebaut sein.

Die Ermittlung des  $\text{NH}_3$ -Bedarfs erfolgt im Bedarfsrechner durch laufende Berechnung aus den gemessenen Motordaten. Die Berechnung kann analog oder digital ausgeführt werden. Die Vorsteuereinheit kann den  $\text{NH}_3$ -Bedarf ebenfalls errechnen. Es ist aber auch möglich, daß die Vorsteuereinheit, die nur bei Leistungsreduktion in Kraft ist, einfacher aufgebaut ist und nur wenige diskrete Signalwerte an die  $\text{NH}_3$ -Dosiereinrichtung abgeben kann, wobei diese Signalwerte dann nur ungefähr jener  $\text{NH}_3$ -Zufuhr entsprechen, die zur tatsächlich sich einstellenden Leistung gehört. Das Wesentliche der Vorsteuereinheit ist jedoch nicht, daß der voreingestellte  $\text{NH}_3$ -Wert exakt der reduzierten Leistung entspricht, als vielmehr die Tatsache, daß die  $\text{NH}_3$ -Zufuhr vor der echten Leistungsreduktion zurückgenommen wird.

Fig. 1

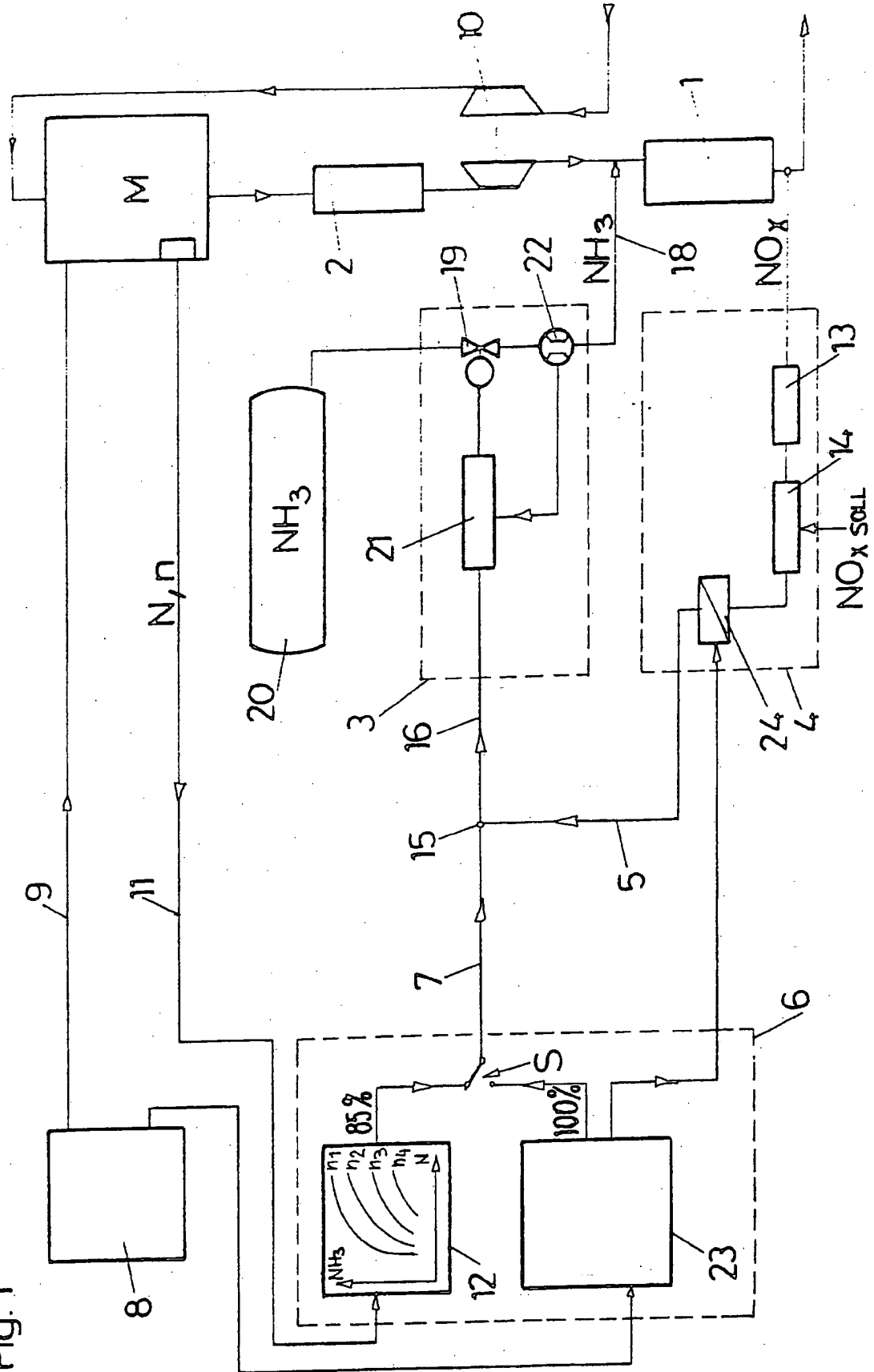


Fig. 2

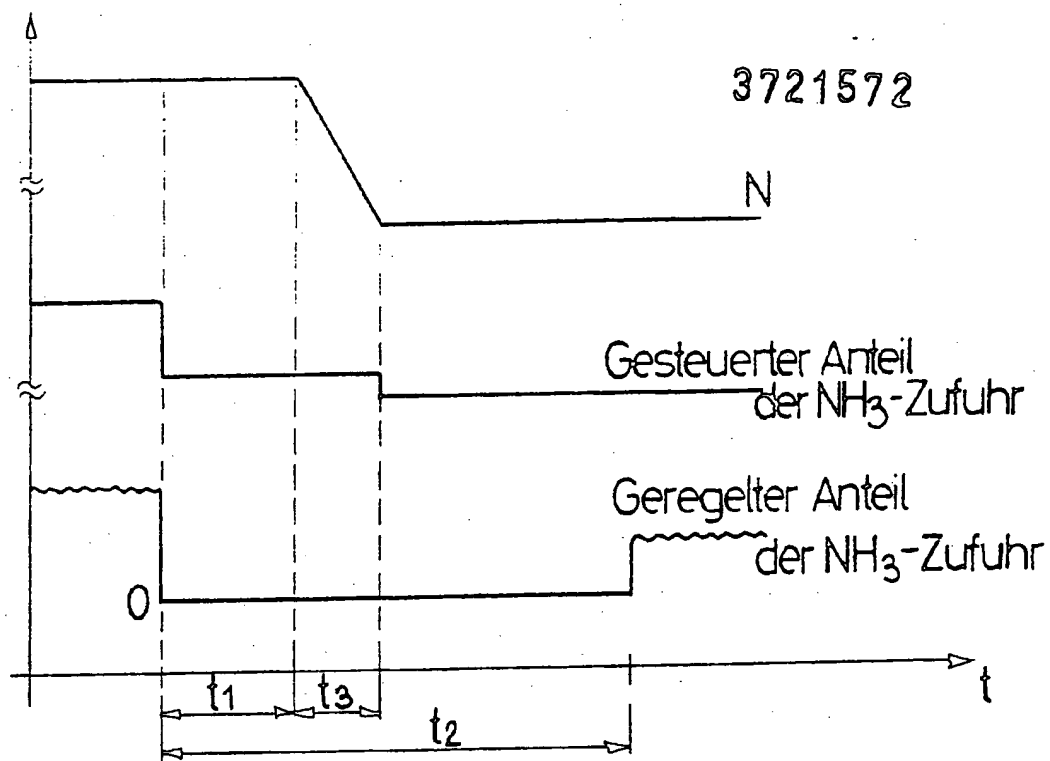


Fig. 3

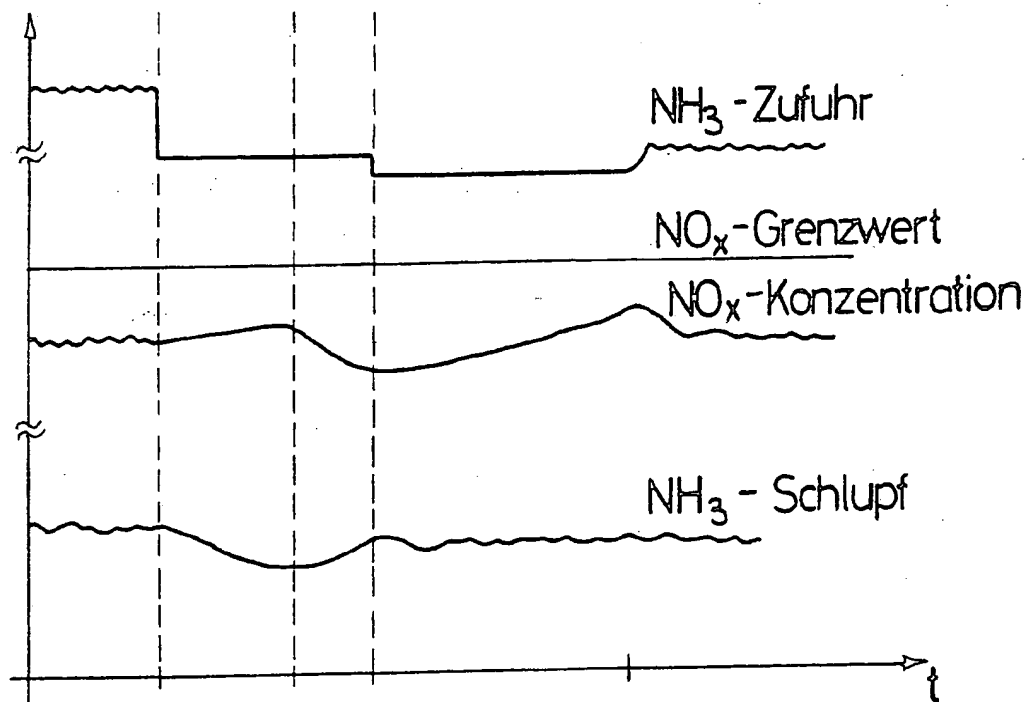




Fig. 4

3721572

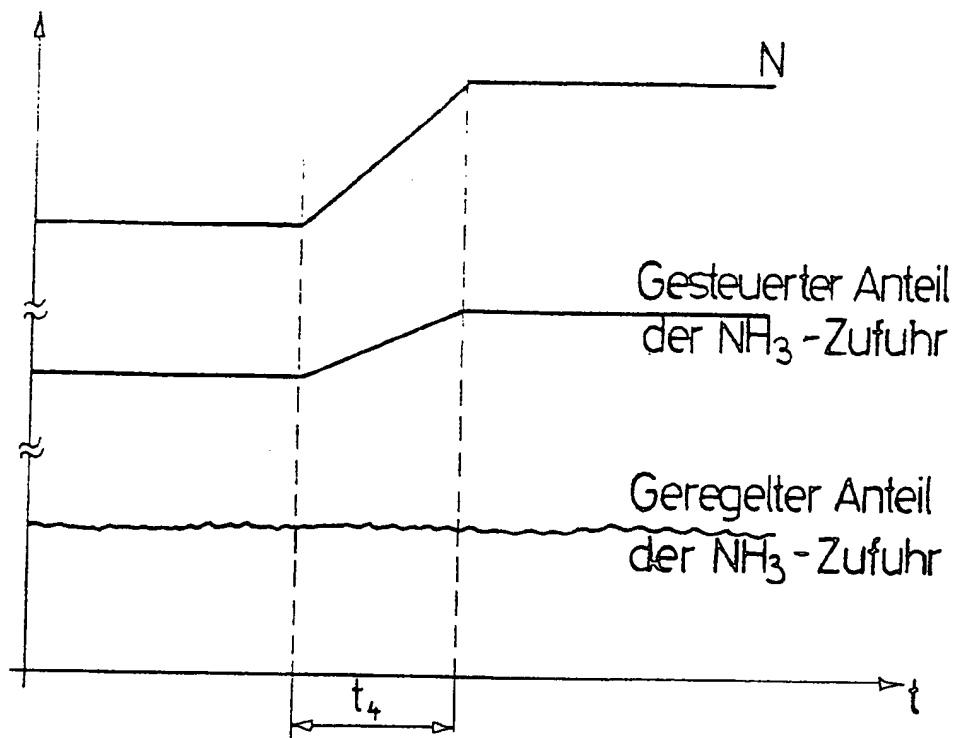


Fig. 5

